

## รายงานการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุของเหลวอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

Design and Development of Automatic Liquid Filling System for Food Industry



นายอุดม จันทร์จรัสสุข

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินหรือรายได้ประจำปีงบประมาณ 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชื่อโครงการวิจัย: การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุของเหลวอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

หัวหน้าโครงการวิจัย: ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบบรรจุของเหลวอัตโนมัติสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยถังเก็บของเหลว ระบบลำเลียง ภาชนะ หัวจ่ายของเหลว และชุดควบคุม โดยผู้ใช้งานจะเป็นผู้ตั้งค่าปริมาณของเหลวที่ต้องการบรรจุลงภาชนะ และภาชนะจะถูกลำเลียงมายังตำแหน่งบริเวณหัวจ่ายเพื่อบรรจุของเหลว โดยใช้ชุดควบคุมในการควบคุมการทำงานให้เป็นไปอย่างอัตโนมัติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นสามารถบรรจุของเหลวให้ได้ปริมาณตามที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราเร็วในการบรรจุแปรผกผันตามปริมาณที่ตั้งค่าไว้ โดยมีอัตราเร็วสูงสุด 19.32 ภาชนะต่อนาที

RCH

TP

871.2

04857

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 120192

วัน, เดือน, ปี..... 9/10/2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. 1237.246

**Research Topic:** Design and Development of Automatic Liquid Filling System for Food Industry

**Head of Research Team:** Dr. Udom Janjarassuk (Ph.D.)

Industrial Engineering Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



### Abstract

The aim of this research is to design and develop a prototype of liquid filling machine for food industry. The prototype consists of liquid storage tank, conveyer, filling head, and control unit. In operation, the filling volume is adjustable by the user, and the container is conveyed underneath the filling head in order to fill the liquid. The operations are carrying out automatically by the control unit. The test results show that the prototype can fill the liquid corresponding to the user specified volume with error less than 5 percent. The filling rate varies in reverse to the filling volume, with a maximum rate of 19.32 containers per minute.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1-2
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3-7
2.1 เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds Number)	3
2.2 การสูญเสียแรงดันในการไหลในท่อตรง	4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย	8-17
3.1 การทำงานของเครื่องบรรจุของเหลว	8
3.2 การออกแบบหัวจ่าย	9
3.3 การออกแบบชุดลำเลียงภาชนะบรรจุ	10
3.4 การออกแบบชุดตรวจวัดระดับของของเหลว	12
3.5 การออกแบบชุดควบคุมระดับของของเหลว	12
3.6 การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของระบบ	14
บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์	18-20
4.1 ผลการทดลอง	18
4.2 การวิจารณ์ผลการทดลอง	19
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	21-22
5.1 สรุปผลการวิจัย	21
5.2 ข้อเสนอแนะ	21

## บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก แผนผังวงจร

ผก 1-9

ก.1 วงจรควบคุมระดับของของเหลว

ผก 2

ก.2 วงจรควบคุมการทำงานของระบบ

ผก 3

ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมการทำงาน

ผข 1-7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 ปริมาตรบรรจุที่ได้จากการทดลองและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	18
ตารางที่ 4.2 เวลาและอัตราเร็วในการบรรจุ	19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลในท่อ	4
รูปที่ 2.2 แผนภูมิ Moody	6
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องบรรจุของเหลว	8
รูปที่ 3.2 ขนาดของชุดลำเลียงภาชนะ	10
รูปที่ 3.3 วงจร Hysteresis Comparator	13
รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงส่วนประกอบของชุดควบคุม	15
รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการทำงานของชุดควบคุม	17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในกระบวนการบรรจุอาหารที่เป็นของเหลวนั้น จำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณของอาหารให้สอดคล้องกับ ปริมาตรที่ระบุไว้ตามฉลากของสินค้า การบรรจุของเหลวลงในภาชนะบรรจุอาหาร สามารถกระทำได้หลายวิธี ตั้งแต่ การใช้พนักงานชั่งตวง ซึ่งมีอัตราการบรรจุประมาณ 3 ภาชนะต่อนาที จนถึงระบบบรรจุของเหลวอัตโนมัติความเร็ว สูง ซึ่งมีอัตราการบรรจุมากกว่า 1000 ภาชนะต่อนาที ในปัจจุบัน โรงงานบรรจุอาหารที่เป็นของเหลวในประเทศไทย เป็นจำนวนมาก ยังคงใช้พนักงานในการบรรจุอาหารลงในภาชนะ เนื่องจากเครื่องบรรจุอัตโนมัติต้องนำเข้าจาก ต่างประเทศและมีราคาแพง การใช้พนักงานในการบรรจุอาหาร มักจะก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องของความล่าช้าใน ขบวนการผลิต หรือค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากความต้องการพนักงานเป็นจำนวนมาก อีกทั้งการควบคุมคุณภาพทำได้ ลำบาก เนื่องจากปริมาตรการบรรจุไม่ได้มาตรฐาน

เครื่องบรรจุของเหลวอัตโนมัติประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือ ชุดลำเลียงภาชนะ ถังบรรจุของเหลว หัว บรรจุของเหลว และชุดควบคุมการบรรจุของเหลว ในการบรรจุของเหลวลงในภาชนะนั้น ปริมาตรที่ต้องการบรรจุจะ ถูกตั้งค่าไว้ก่อนทำการบรรจุ หลังจากนั้น ภาชนะจะถูกลำเลียงไปยังตำแหน่งบรรจุโดยชุดลำเลียงภาชนะ ซึ่งใช้ตัว ตรวจจับภาชนะเป็นตัวบอกตำแหน่งของภาชนะ หลังจากภาชนะถูกลำเลียงไปยังตำแหน่งบรรจุ ชุดควบคุมการบรรจุ จะสั่งให้หัวบรรจุของเหลวทำการบรรจุของเหลวลงในภาชนะ โดยปริมาตรของของเหลวที่บรรจุจะถูกวัดและส่งไปยัง ชุดควบคุมเพื่อประมวลผล เมื่อทำการบรรจุของเหลวได้ปริมาตรตามที่ตั้งค่าไว้ ชุดควบคุมจะสั่งให้หัวบรรจุของเหลว หยุดการบรรจุของเหลว จากนั้น ภาชนะที่บรรจุของเหลวเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงออกไปสู่ระบบ ส่วน ภาชนะใหม่ที่ยังไม่ได้รับการบรรจุของเหลว จะถูกลำเลียงเข้ามาเพื่อทำการบรรจุของเหลวต่อไป

จากหลักการทำงานของเครื่องบรรจุของเหลวอัตโนมัติที่กล่าวมาแล้วเบื้องต้น ผู้วิจัยเห็นว่า เครื่องจักรดังกล่าว สามารถพัฒนาขึ้นใช้เองในประเทศได้ โครงการจึงมุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการบรรจุของเหลวโดย พนักงาน และแก้ปัญหาเครื่องจักรนำเข้าที่มีราคาแพง โดยการสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถบรรจุของเหลวอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้ทดแทนแรงงานมนุษย์ ซึ่งจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและมาตรฐานการผลิตให้สูงขึ้น อีกทั้งเป็นการส่งเสริมให้ภาคธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดเล็กสามารถนำไปพัฒนาต่อในเชิงพาณิชย์ได้

### 1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบบรรจุของเหลวอัตโนมัติสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
2. เพื่อส่งเสริมการพัฒนาเครื่องมือและลดการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ
3. เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ให้แก่ผู้สนใจ

### 1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เครื่องบรรจุของเหลวมีอัตราการบรรจุ 25 มิลลิลิตรต่อวินาที
2. ของเหลวที่บรรจุมีค่าความหนืดไม่เกิน  $10^{-2}$  Pa.s ภายใต้อุณหภูมิห้อง
3. ภาชนะที่บรรจุของเหลวมีขนาด 50-500 มิลลิลิตร

### 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1. สามารถนำไปใช้ทดแทนแรงงานมนุษย์
2. สามารถนำไปพัฒนาในเชิงพาณิชย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบเครื่องบรรจุของเหลวนั้น จำเป็นที่จะต้องรู้ถึงคุณสมบัติของของเหลวที่ทำการบรรจุ คุณสมบัติที่สำคัญหนึ่งของของเหลวคือความหนืดและพฤติกรรมการไหลของของไหล โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของความหนืดที่มีผลต่อความเร็วของการไหลภายในท่อ

#### 2.1 เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number)

เรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ถูกนำเสนอโดย George Gabriel Stokes เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1851 [1] และได้ตั้งชื่อตาม Osborne Reynolds ผู้ซึ่งนำไปใช้งานในปี ค.ศ. 1883 [2, 3] เรย์โนลด์นัมเบอร์ ( $R_e$ ) เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงอัตราส่วนระหว่างแรงในการเคลื่อนที่ต่อแรงที่เกิดจากความหนืด

$$R_e = \frac{\text{inertial force}}{\text{viscous force}}$$

(2.1) สำหรับการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ภายในท่อ ความสัมพันธ์ของตัวเลข Reynolds สามารถเขียนได้ดังสมการที่

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล

$\mu$  = ค่าความหนืดจลน์

$D$  = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

$V$  = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สามารถนำไปใช้เพื่อแยกประเภทของการไหล สำหรับการไหลแบบลามินาร์ (Laminar)

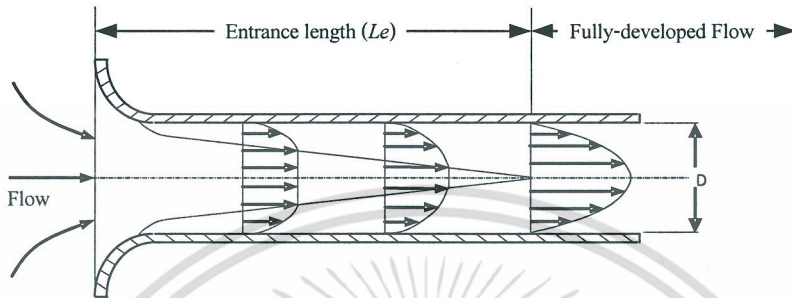
เรย์โนลด์นัมเบอร์จะมีค่าน้อยกว่า 2100 สำหรับการไหลแบบทรานซิชัน (Transition) ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จะอยู่ในช่วง

$2100 < R_e < 4000$  และสำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ (Turbulent) เรย์โนลด์นัมเบอร์จะมีค่ามากกว่า 4000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ของไหลไหลเข้าท่อ โดยให้การไหลเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) ความหนืดของของไหลจะมีผลกระทบจากแรงเฉือนที่ทำให้เกิดชั้น Boundary layers ขึ้น ซึ่งทำให้การไหลถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ช่วง Entrance length ( $L_e$ ) ซึ่งเป็นระยะทางที่ของไหลไหลเข้า และการไหลที่พัฒนาเต็มรูปแบบแล้ว (Fully-developed Flow) ซึ่งความเร็วของการไหลจะไม่เป็นฟังก์ชันกับระยะทางตามแนวการไหล



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลในท่อ

ระยะทางที่ของไหลไหลเข้า ( $L_e$ ) จะขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ ( $Re$ ) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ( $D$ ) สำหรับการไหลแบบลามินาร์ ค่า  $L_e$  สามารถหาได้จากสมการ (2.2)

$$L_e \approx 0.06D(Re) \quad (2.2)$$

และสำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ ค่า  $L_e$  สามารถหาได้จากสมการ (2.3)

$$L_e \approx 4.4D(Re)^{1/6} \quad (2.3)$$

## 2.2 การสูญเสียแรงดันในการไหลในท่อตรง

การสูญเสียแรงดัน (Head Loss) ในการไหลในท่อเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างของไหลและความหนืดของของไหลเอง การสูญเสียแรงดัน (Head Loss) สามารถเขียนแทนด้วยสมการของ Darcy-Weisbach ได้ดังนี้

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.4)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$f$  = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor)

$L$  = ความยาวท่อ

$D$  = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

$V$  = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก =  $9.81 \text{ m/s}^2$

การคำนวณสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $f$ ) สำหรับการไหลแบบลามินาร์สามารถหาได้จากสมการ (2.5)

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.5)$$

สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $f$ ) สามารถหาได้จากสมการ (2.6)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left[ \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} + \frac{\epsilon}{3.7D} \right] \quad (2.6)$$

เมื่อ

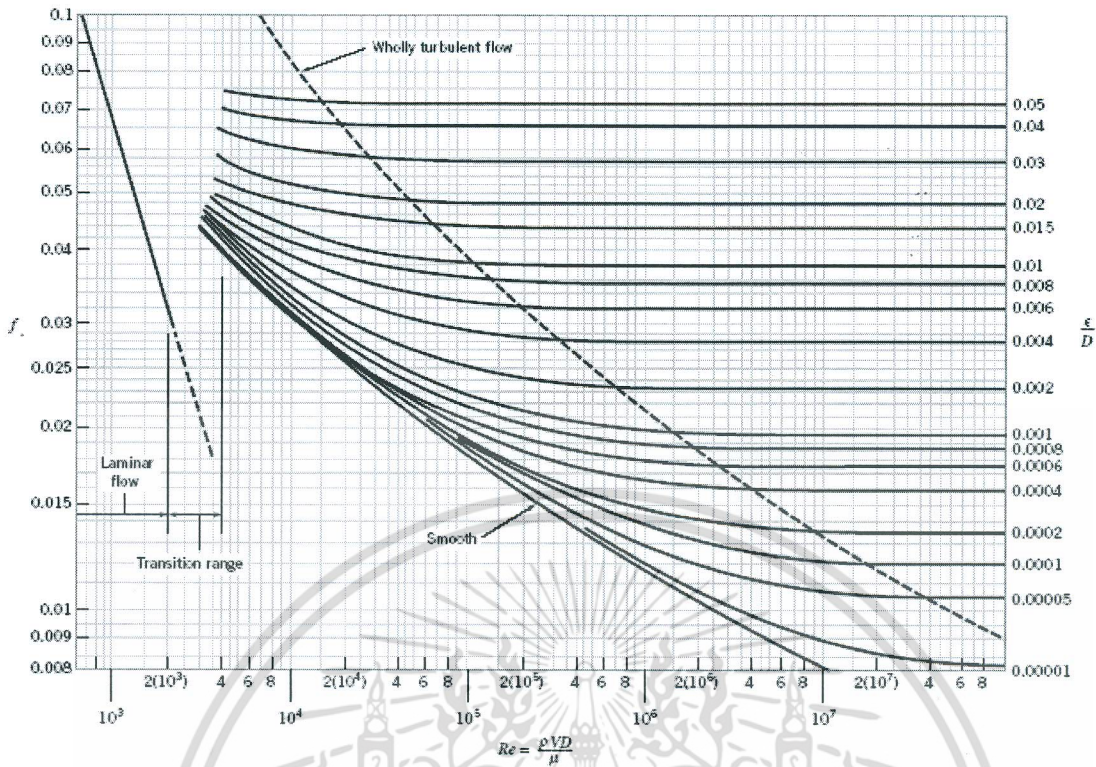
$\epsilon$  = ค่าความหยาบ (Roughness)

$D$  = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

โดยที่  $\epsilon/D$  คือค่าความหยาบสัมพัทธ์

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $f$ ) ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ ( $Re$ ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ( $D$ ) และความหยาบสัมพัทธ์สามารถเขียนแทนด้วยแผนภูมิ Moody ได้ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภูมิ Moody

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องบรรจุของเหลวมีอยู่ด้วยกันหลายด้าน ทั้งในด้านพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) และในด้านการระบบควบคุมและเฝ้าสังเกตการณ์ (Control and Monitoring System) ในเอกสาร [4] ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics Model) ของไหลที่ไหลผ่านวาล์ว โดยทำการศึกษาค่าความดัน ความเร็ว และการกระจายของความเค้นเฉือนจากวาล์วที่ใช้ในเครื่องบรรจุของเหลวที่มีผลต่อความสม่ำเสมอในการทำงานและอัตราการบรรจุของเหลว ผลจากการศึกษาทำให้พบบริเวณที่เกิดโพรงในของเหลว ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของวาล์วลดลง รวมทั้งได้นำเสนอวิธีในการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวาล์วให้สูงขึ้น ในเอกสาร [5] ผู้วิจัยได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลระหว่างขั้นตอนการบรรจุ เพื่อหาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวาล์วโดยการเพิ่มความเร็วในการไหลให้สูงขึ้น โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในการเปรียบเทียบผลของอัตราการไหลของนมเปรี้ยวภายใต้ความดันต่างๆกับผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานที่ทำการศึกษ ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่านมเปรี้ยวจะมีลักษณะการไหลแบบลามินาร์เมื่อเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ของนมเปรี้ยวมีค่าต่ำกว่า 444 ในเอกสาร [6] ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบควบคุมและเฝ้าสังเกตการณ์ระดับของของไหลในกระบวนการบรรจุของเหลวลงในขวด ซึ่งสามารถบรรจุได้ 16 ขวดพร้อมๆกัน โดยการนำเทคโนโลยีคลื่นเสียงความถี่สูงและคอมพิวเตอร์ในการควบคุมระดับของของเหลวเพื่อให้ระบบมีการตอบสนองที่รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง โดยระบบที่นำเสนอสามารถบรรจุของเหลวได้ 400 ขวดต่อนาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

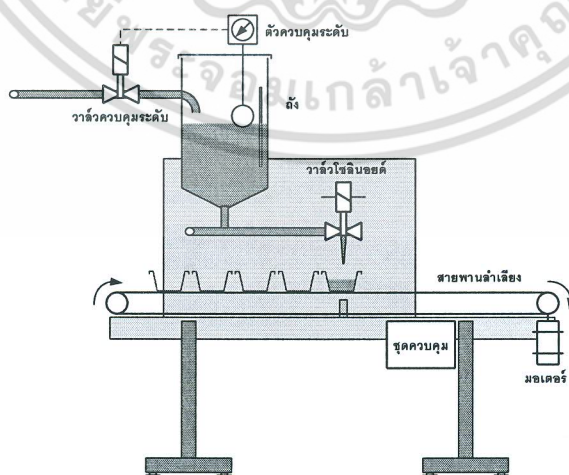
### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินวิจัย

### 3.1 การทำงานของเครื่องบรรจุของเหลว

เครื่องบรรจุของเหลวประกอบด้วยถังเก็บของเหลว ชุดควบคุมระดับของของเหลว ชุดลำเลียงภาชนะบรรจุ หัวจ่าย และชุดควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งแสดงไว้ดังในรูปที่ 3.1 โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่ดังนี้คือ

1. ถังเก็บของเหลว มีหน้าที่เป็นที่พักเก็บของเหลวที่ต้องการบรรจุลงภาชนะ
2. ชุดควบคุมระดับของของเหลว มีหน้าที่ควบคุมระดับของของเหลวในถังเก็บให้อยู่ในระดับที่ต้องการ
3. ชุดลำเลียงภาชนะบรรจุ มีหน้าที่ลำเลียงภาชนะบรรจุให้มาอยู่ ณ ตำแหน่งของหัวจ่ายเพื่อบรรจุของเหลว
4. หัวจ่าย มีหน้าที่จ่ายของเหลวลงภาชนะ
5. ชุดควบคุมการทำงานของระบบ มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดลำเลียงภาชนะและควบคุมการจ่ายของเหลวของหัวจ่าย



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องบรรจุของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องบรรจุของเหลวเริ่มจากการปล่อยของเหลวให้ไปพักเก็บไว้ในถังเก็บ โดยใช้ชุดควบคุมระดับของของเหลวให้อยู่ในระดับที่ตั้งค่าไว้ จากนั้น ภาชนะบรรจุจะถูกลำเลียงมายังตำแหน่งของหัวจ่ายโดยชุดลำเลียงภาชนะ และชุดควบคุมจะควบคุมให้หัวจ่ายทำการจ่ายของเหลวตามปริมาตรที่ได้ตั้งค่าไว้ จากนั้นจึงลำเลียงภาชนะที่บรรจุของเหลวแล้วออกไปจากชุดลำเลียง และทำการลำเลียงภาชนะอันถัดไปเพื่อบรรจุของเหลวต่อไป

### 3.2 การออกแบบหัวจ่าย

ในการบรรจุของเหลวลงในภาชนะบรรจุ ปริมาตรที่บรรจุจะต้องอยู่ในค่าที่ผู้กำหนดไว้ โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด การควบคุมปริมาตรสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การควบคุมปริมาตรโดยการวัดอัตราการไหล ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการควบคุมปริมาตร โดยการควบคุมเวลาในการจ่ายของเหลวร่วมกับการควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ การจ่ายของเหลวจะใช้วาล์วโซลินอยด์ในการเปิดปิดให้ของเหลวไหลผ่าน เมื่อของเหลวไหลด้วยความเร็วคงที่ อัตราการไหลสามารถหาได้จาก

$$Q = Av \quad (3.1)$$

เมื่อ

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของท่อ

$v$  = ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านท่อ

ในสภาวะปกติภายใต้แรงโน้มถ่วง ความเร็วของของไหลสามารถหาได้จาก

$$v = \sqrt{2gdh} \quad (3.2)$$

เมื่อ

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  $= 9.81 \text{ m/s}^2$

$h$  = ระดับของของเหลวในถัง

$d$  = ความหนาแน่นของของไหล

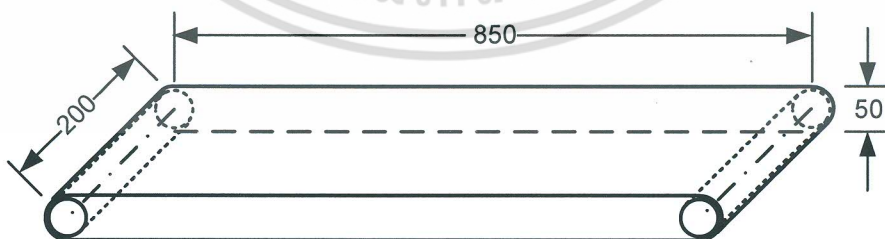
ดังนั้น อัตราการไหลของหัวจ่ายสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = \pi D^2 \sqrt{\frac{gdh}{8}} \quad (3.3)$$

กำหนดให้เครื่องบรรจุกของเหลวที่ออกแบบไว้สามารถบรรจุกของเหลวด้วยความเร็ว 25 มิลลิลิตรต่อวินาที และของเหลวที่ทำการบรรจุกมีความหนาแน่น  $\approx 1 \text{ g/cm}^3$  โดยระดับของของเหลวในถังมีความสูงเท่ากับ 20 เซนติเมตร ดังนั้นขนาดของวาล์วโซลินอยด์ควรมีช่องเปิดมากกว่า 4 mm

### 3.3 การออกแบบชุดลำเลียงภาชนะบรรจุก

ภาชนะที่บรรจุกของเหลวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ดังนั้น ความกว้างของสายพานลำเลียงจึงเลือกใช้ที่ขนาด 20 โดยมีความยาว 85 เซนติเมตรดังแสดงไว้ในแบบรูปที่ 3.2 โดยสายพานที่เลือกใช้เป็นสายพาน PVC ซึ่งเป็นสายพานที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานขนาดเบาหรือมีภาระไม่มาก (Light Load) สายพาน PVC ที่ใช้มีโครงสร้างประกอบด้วยเส้นใยและส่วนผิวสายพานที่เคลือบด้วยสาร PVC โดยสายพานมีความหนา 2 มิลลิเมตร ส่วนเพลลาที่ขับเคลื่อนสายพานทำจากท่อเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และยึดติดกับโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กกล่อง 1 นิ้ว x 2 นิ้ว โดยสายพานและเพลลาขีบน้ำหนักรวม 3 กิโลกรัม



รูปที่ 3.2 ขนาดของชุดลำเลียงภาชนะ

### การคำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์

แรงดึงของสายพานสามารถคำนวณได้จาก

$$F = \mu g(M_B + M_C) \quad (3.4)$$

เมื่อ

$\mu$  = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างสายพานและเพลลา

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  $= 9.81 \text{ m/s}^2$

$M_B$  = น้ำหนักของสายพาน

$M_C$  = น้ำหนักของภาชนะและของเหลวที่บรรจุ

ดังนั้น แรงดึงของสายพานต้องมีค่ามากกว่า

$$\begin{aligned} F &= 0.5 \times 9.81 \times (3 + 0.5) \\ &= 17.17 \text{ N} \end{aligned}$$

และแรงบิดที่ต้องการในการขับเคลื่อนเพลลาสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} T &= F \times r \\ &= 17.17 \times 0.025 \\ &= 0.43 \text{ Nm} \end{aligned}$$

โดย  $r$  คือรัศมีของเพลลา

### การคำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์

กำหนดให้สายพานเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อนาที และจากขนาดของเพลลาขับเคลื่อนสายพานที่ใช้ การหมุนของเพลลา 1 รอบจะได้ระยะทาง 0.157 เมตร ดังนั้น ความเร็วรอบในการหมุนของเพลลาสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบของเพลาสายพาน	= 30/0.157	รอบต่อนาที
	= 191	รอบต่อนาที

การเชื่อมต่อมอเตอร์กับเพลาสายพานจะใช้โซ่ในการส่งกำลัง โดยใช้เฟืองโซ่ (Sprocket) ที่มีอัตราทดหนึ่งต่อหนึ่ง โดยมอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นแบบมีเกียร์ทดในตัวและมีความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

### 3.4 การออกแบบชุดตรวจวัดระดับของของเหลว

อัตราการไหลของเครื่องบรรจุของเหลวที่ได้ออกแบบไว้คือ 25 มิลลิเมตรต่อวินาที และจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% หรือ

$$\frac{(Q_{max} - Q_{min})}{25} \times 100 < 5\%$$

เมื่อ  $Q_{max}$  และ  $Q_{min}$  คืออัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุดที่ยอมรับได้ตามลำดับ

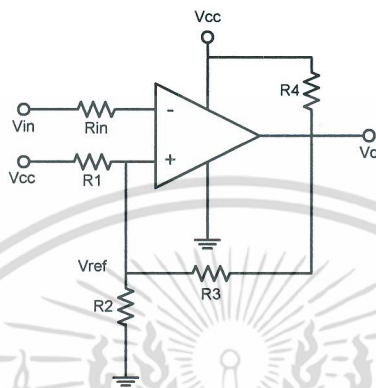
จากสมการที่ (3.3) จะได้ว่า ระดับความสูงของของเหลวที่ควบคุมจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง 19 – 21 เซนติเมตร ดังนั้น วงจรตรวจวัดระดับของของเหลวที่ใช้จะต้องสามารถตรวจวัดระดับของของเหลวในช่วง 19 – 21 เซนติเมตร

วงจรตรวจวัดระดับของของเหลวที่ได้ออกแบบไว้อาศัยหลักการการสะท้อนของคลื่นเสียงความถี่สูง โดยการแปลงระยะทางระหว่าง 19 – 21 เซนติเมตรให้เป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 – 10 โวลต์ วงจรที่ได้ออกแบบไว้ประกอบด้วย ชุดกำเนิดคลื่นเสียงความถี่สูงและตัวรับคลื่นเสียงความถี่สูง โดยได้แสดงแผนผังของวงจรไว้ในภาคผนวก ก.1

### 3.5 การออกแบบชุดควบคุมระดับของของเหลว

การควบคุมระดับของของเหลวในถังเก็บจะใช้วิธีการควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-off control) โดยใช้วงจร Hysteresis Comparator ในการเปรียบเทียบระดับบนและระดับล่างของของเหลวที่ตั้งค่าไว้ เมื่อของเหลวในถังเก็บมีระดับ

ต่ำกว่าค่าระดับล่าง วงจร Hysteresis Comparator จะให้สัญญาณออกเป็นแรงดันสูงเพื่อนำไปส่งงานให้วาล์วทำการปล่อยของเหลวเข้าถัง ในทางกลับกัน เมื่อระดับของของเหลวสูงถึงจุดที่ตั้งไว้ วงจรก็จะให้สัญญาณออกเป็นแรงดันต่ำเพื่อทำการปิดวาล์ว



รูปที่ 3.3 วงจร Hysteresis Comparator

จากรูป 3.3  $V_{in}$  เป็นแรงดันขาเข้าที่รับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดระดับ  $V_{ref}$  เป็นแรงดันอ้างอิง และ  $V_o$  เป็นสัญญาณขาออก ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอ้างอิงและแรงดันขาออกสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.5) และ (3.6)

$$\frac{V_{cc}-V_{ref}}{R_1} + \frac{V_o-V_{ref}}{R_3} = \frac{V_{ref}}{R_2} \quad (3.5)$$

$$V_{ref} = \left( \frac{V_{cc}}{R_1} + \frac{V_o}{R_3} \right) \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (3.6)$$

และแรงดันระดับบน ( $V_H$ ) และแรงดันระดับล่าง ( $V_L$ ) ที่จะทำให้แรงดันขาออกเปลี่ยนสถานะสามารถหาได้จากสมการที่ (3.7) และ (3.8)

$$V_H = \left( \frac{V_{cc}}{R_1} + \frac{V_o(max)}{R_3} \right) \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (3.7)$$

$$V_L = \left( \frac{V_{cc}}{R_1} + \frac{V_o(min)}{R_3} \right) \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (3.8)$$

โดยแรงดันขาออกจะเปลี่ยนสถานะจาก  $V_o(\min)$  เป็น  $V_o(\max)$  เมื่อแรงดันขาเข้า  $V_{in} < V_L$  และจะเปลี่ยนสถานะจาก  $V_o(\max)$  เป็น  $V_o(\min)$  เมื่อแรงดันขาเข้า  $V_{in} > V_H$

การกำหนดค่าแรงดันระดับบน ( $V_H$ ) และแรงดันระดับล่าง ( $V_L$ ) สามารถทำได้โดยคำนวณจากค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากระดับของของเหลวที่ระดับสูงสุดและระดับต่ำสุด โดยระบบที่ออกแบบกำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% และแรงดันจากตัวตรวจวัดระดับมีแรงดันระหว่าง 0-10 V ดังนั้น ความแตกต่างระหว่างแรงดันระดับบนและแรงดันระดับล่างจะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5 V หรือ

$$\frac{(V_H - V_L)}{10} \times 100 < 5\%$$

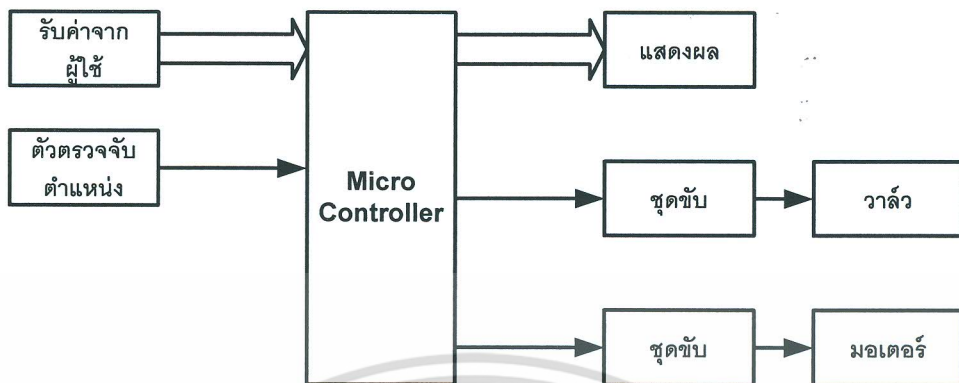
และเมื่อกำหนดให้ความต้านทาน  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}$  จะได้ว่า  $R_3$  จะต้องมียค่ามากกว่า 95 k เพื่อให้วงจรทำงานได้ตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้ โดยแผนผังของวงจรที่ได้ออกแบบไว้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.1

### 3.6 การออกแบบชุดควบคุมการทำงานของระบบ

#### 3.6.1 วงจรควบคุม

ชุดควบคุมการทำงานของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro-controller) ตัวตรวจจับตำแหน่ง ปุ่มรับค่าจากผู้ใช้ ชุดแสดงผล ชุดขั้วบวกลบและชุดขั้วมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยแต่ละส่วนมีหลักการทำงานและหน้าที่ดังนี้คือ

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของ ATMEL เบอร์ AT89C51 เป็นตัวควบคุม ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถบันทึกโปรแกรมการทำงานไว้ภายในและสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ 4 พอร์ต (Port) โดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบการกดปุ่มจากผู้ใช้ และทำการตรวจสอบสัญญาณจากตัวตรวจจับตำแหน่งเพื่อนำไปประมวลผลและสั่งงานให้วาล์วและมอเตอร์ทำงาน รวมทั้งแสดงสถานะการทำงานผ่านชุดแสดงผล



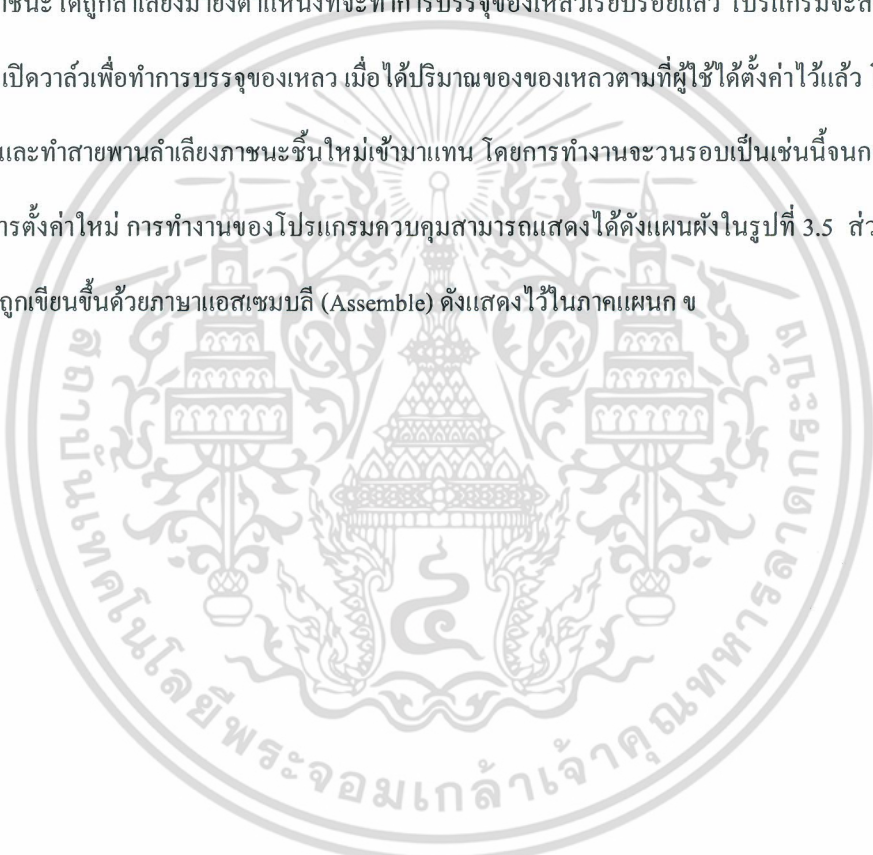
รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงส่วนประกอบของชุดควบคุม

2. ตัวตรวจจับตำแหน่ง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของภาชนะบรรจุของเหลว โดยใช้การตรวจจับแสงเลเซอร์ที่ส่งมาจากตัวกำเนิดแสงเลเซอร์ เมื่อภาชนะถูกถ่วงมายังตำแหน่งที่ตั้งไว้ ภาชนะจะไปปิดบังทางเดินของแสงเลเซอร์ ทำให้แสงเลเซอร์ไม่สามารถตกกระทบบนตัวตรวจจับแสงเลเซอร์ได้ โดยตัวตรวจจับจะส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ปุ่มรับค่าจากผู้ใช้ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้อนคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตั้งค่าการทำงานของเครื่อง โดยใช้ปุ่มกดแบบกดติดปลายนิ้วจำนวน 3 ปุ่ม ซึ่งประกอบด้วยปุ่มสำหรับเพิ่มค่า ลดค่า และปุ่มสำหรับยืนยันคำสั่ง
4. ชุดแสดงผล ทำหน้าที่ในการแสดงปริมาณของของเหลวที่ได้ทำการบรรจุ โดยใช้ตัวเลข 7-segments 2 หลักในการแสดงผล ซึ่งในขณะที่บรรจุ ตัวเลขที่แสดงจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่ผู้ใช้ได้ตั้งค่าไว้
5. ชุดขับวาล์ว ทำหน้าที่เปิดปิดวาล์วโซลินอยด์โดยผ่านอุปกรณ์รีเลย์
6. ชุดขับมอเตอร์ ทำหน้าที่เปิดปิดมอเตอร์โดยผ่านอุปกรณ์รีเลย์

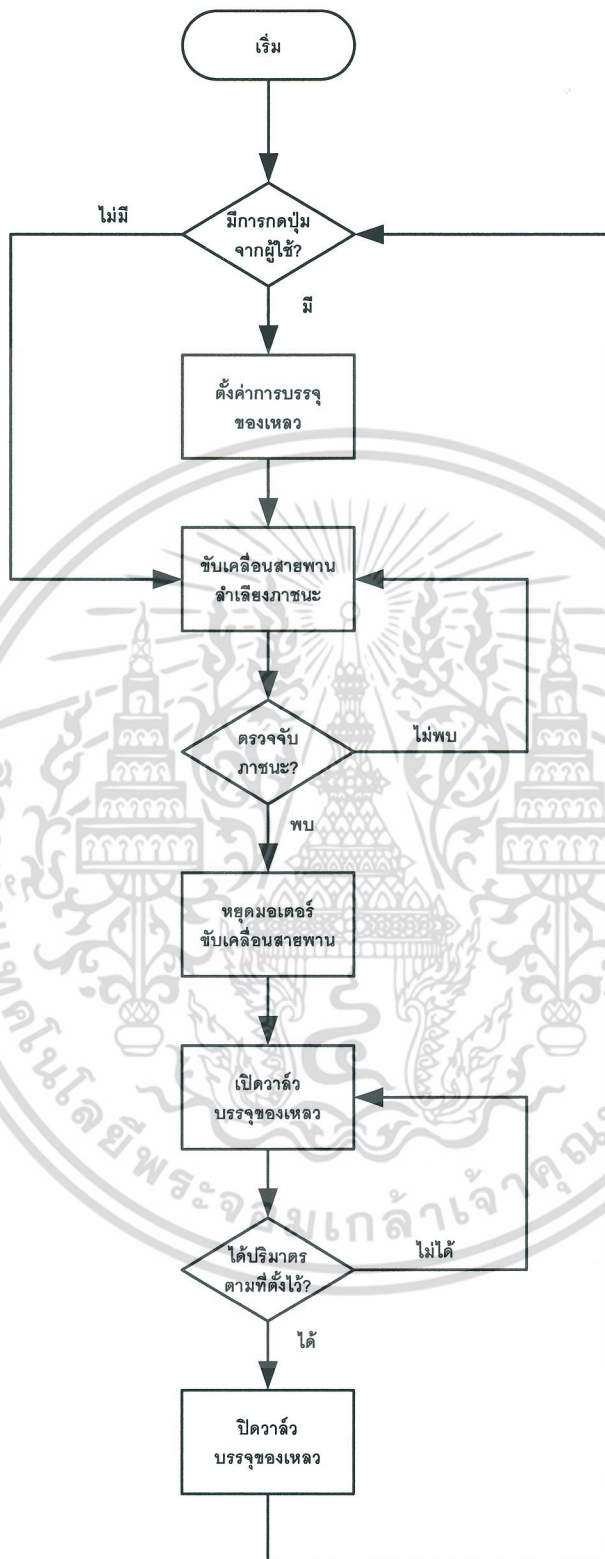
โดยแผนผังของวงจรที่ได้ออกแบบไว้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.2

### 3.6.2 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

การทำงานของโปรแกรมควบคุมสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน โปรแกรมจะทำการตรวจสอบสถานะของปุ่มกดจากผู้ใช้ หากไม่มีการป้อนค่าจากผู้ใช้ โปรแกรมจะใช้ค่าที่ได้บันทึกไว้โดยปริยาย โดยโปรแกรมจะสั่งให้มอเตอร์หมุนเพื่อขับเคลื่อนสายพานและลำเลียงภาชนะบรรจุมายังตำแหน่งที่ได้ตั้งไว้ในขณะเดียวกัน โปรแกรมจะทำการตรวจสอบสถานะของตัวตรวจจับตำแหน่งเพื่อตรวจสอบว่าภาชนะได้ถูกลำเลียงมายังตำแหน่งที่ตั้งไว้แล้วหรือยัง หากภาชนะได้ถูกลำเลียงมายังตำแหน่งที่จะทำการบรรจุของเหลวเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน และเปิดวาล์วเพื่อทำการบรรจุของเหลว เมื่อได้ปริมาณของของเหลวตามที่ผู้ใช้ได้ตั้งค่าไว้แล้ว โปรแกรมจะสั่งให้ปิดวาล์วและทำสายพานลำเลียงภาชนะชั้นใหม่เข้ามาแทน โดยการทำงานจะวนรอบเป็นเช่นนี้จนกว่าผู้ใช้จะปิดเครื่องหรือมีการตั้งค่าใหม่ การทำงานของโปรแกรมควบคุมสามารถแสดงได้ดังแผนผังในรูปที่ 3.5 ส่วนรหัสคำสั่งของโปรแกรมถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาแอสเซมบลี (Assemble) ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข



## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการทำงานของชุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 4.1 ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเครื่องบรรจุของเหลวอัตโนมัติที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น การทดลองแบ่งออกเป็น 4 การทดลองตามขนาดปริมาตรที่บรรจุ ได้แก่ 50 มิลลิลิตร 100 มิลลิลิตร 200 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตรตามลำดับ ในแต่ละการทดลองได้ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง โดยได้บันทึกเวลาที่ใช้ในการบรรจุและปริมาตรของของเหลวที่บรรจุเพื่อใช้ในการหาอัตราเร็วในการบรรจุและปริมาณความคลาดเคลื่อนในการบรรจุ ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาตรบรรจุที่ได้จากการทดลองและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

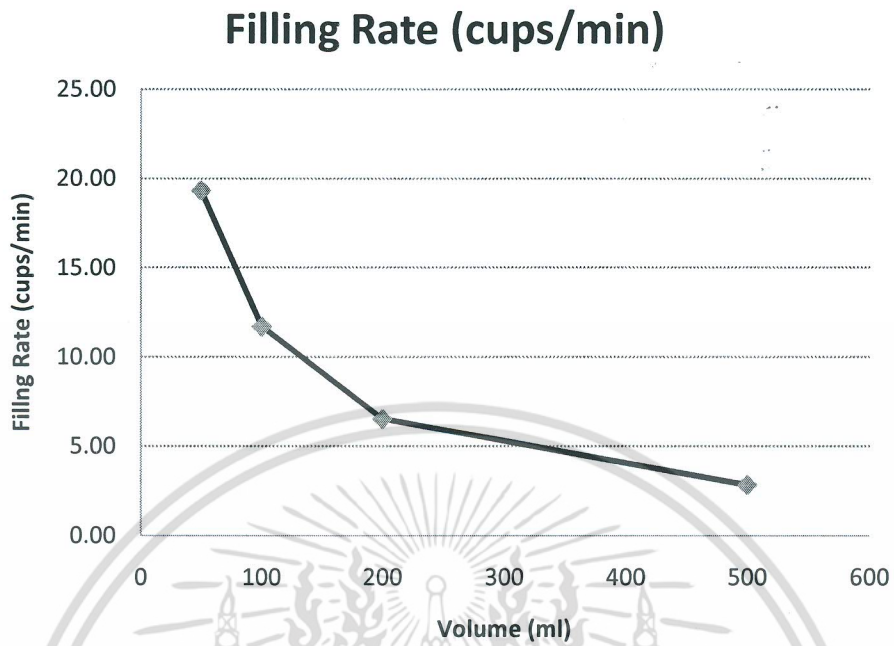
No.	50 ml		100 ml		200 ml		500 ml	
	Volume	Error(%)	Volume	Error(%)	Volume	Error(%)	Volume	Error(%)
1	51.43	2.86	95.62	4.38	198.37	0.81	515.74	3.15
2	51.40	2.79	98.31	1.69	199.49	0.26	495.81	0.84
3	51.80	3.60	97.47	2.53	203.11	1.55	519.89	3.98
4	48.69	2.63	95.60	4.40	205.11	2.55	515.72	3.14
5	49.82	0.37	96.93	3.07	193.61	3.20	510.07	2.01
6	51.72	3.45	95.05	4.95	198.79	0.60	489.89	2.02
7	47.94	4.11	104.13	4.13	192.71	3.65	492.48	1.50
8	51.64	3.28	95.06	4.94	209.56	4.78	509.14	1.83
9	49.12	1.76	98.38	1.62	205.70	2.85	516.00	3.20
10	47.44	5.12	103.14	3.14	200.45	0.23	512.00	2.40
<b>Average</b>	<b>50.10</b>	<b>3.00</b>	<b>97.97</b>	<b>3.49</b>	<b>200.69</b>	<b>2.05</b>	<b>507.67</b>	<b>2.41</b>

ตารางที่ 4.2 เวลาและอัตราเร็วในการบรรจุ

No.	Filling Time (secs.)			
	50 ml	100 ml	200 ml	500 ml
1	3.0	5.2	9.3	21.2
2	3.1	5.0	9.1	21.1
3	3.0	5.0	9.3	21.1
4	3.2	5.2	9.3	21.3
5	3.0	5.3	9.2	21.0
6	3.3	5.1	9.2	21.3
7	3.2	5.3	9.2	21.0
8	3.3	5.0	9.0	21.3
9	3.0	5.2	9.1	21.0
10	3.0	5.0	9.2	21.3
<b>Total Time</b>	<b>31.1</b>	<b>51.3</b>	<b>91.8</b>	<b>211.6</b>
<b>Filling Rate (cups/min)</b>	<b>19.32</b>	<b>11.69</b>	<b>6.54</b>	<b>2.84</b>

#### 4.2 การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เครื่องต้นแบบบรรจุของเหลวอัตโนมัติที่ได้สร้างขึ้นสามารถบรรจุของเหลวได้ตาม ปริมาตรที่ตั้งค่าไว้ โดยมีความคลาดเคลื่อนในการบรรจุไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุของความคลาดเคลื่อนของปริมาตร เกิดจากระดับของของเหลวในถังเก็บที่ไม่คงที่ อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของวงจรวางควบคุมระดับของของเหลว ส่วน อัตราเร็วในการบรรจุของเหลวคิดเป็นจำนวนภาชนะที่สามารถบรรจุได้ในหนึ่งนาที โดยอัตราเร็วในการบรรจุที่ได้จะขึ้นอยู่กับ ปริมาตรของของเหลวที่ต้องการบรรจุ รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบรรจุกับปริมาตรของของเหลวที่ บรรจุ ซึ่งมีลักษณะไม่เชิงเส้น สาเหตุของความไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการบรรจุที่ได้จากการทดลองได้รวมถึง เวลาในการลำเลียงภาชนะให้มายังตำแหน่งที่จะบรรจุด้วย ดังนั้น ในกรณีที่มีปริมาตรที่ต้องการบรรจุ น้อย ภาชนะที่บรรจุได้ จะมีจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้เวลาในการลำเลียงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบรรจุและปริมาตรที่บรรจุ

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาของงานวิจัยในครั้งนี้พบว่า เครื่องต้นแบบบรรจุของเหลวอัตโนมัติที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรมได้หลากหลาย เช่น การบรรจุน้ำเปล่า การบรรจุน้ำผลไม้ เป็นต้น จากการทดลองการบรรจุของเหลวลงภาชนะโดยตั้งค่าปริมาตรตั้งแต่ 50 มิลลิลิตรจนถึง 500 มิลลิลิตรพบว่า ความคลาดเคลื่อนของปริมาตรที่บรรจุมีค่าต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องต้นแบบมีอัตราเร็วในการบรรจุสูงสุด 19.32 ภาชนะต่อนาที ซึ่งอัตราเร็วในการบรรจุจะลดลงเมื่อปริมาตรในการบรรจุเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบไม่เชิงเส้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

##### 5.2.1 การเพิ่มอัตราเร็วในการบรรจุ

เนื่องจากอัตราเร็วในการบรรจุของเหลวลงภาชนะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความสามารถในการผลิต (Productivity) ในทางอุตสาหกรรม ดังนั้น การพัฒนาให้เครื่องบรรจุของเหลวมีอัตราเร็วในการบรรจุสูงขึ้นจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้งานจริง การเพิ่มอัตราเร็วในการบรรจุสามารถทำได้โดย

1. การติดตั้งระบบป้อนภาชนะอัตโนมัติ
2. การบรรจุหลายๆ ภาชนะพร้อมกัน

การใช้ระบบป้องกันภาวะอันตรายอัตโนมัติแทนการป้อนโดยใช้มนุษย์จะทำให้การบรรจุของเหลวลงภาชนะมีความต่อเนื่องมากขึ้น และทำให้ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องหยุดพัก นอกจากนี้จะทำให้อัตราเร็วในการบรรจุเพิ่มขึ้นแล้วยังช่วยลดปริมาณการใช้แรงงานมนุษย์อีกด้วย โดยระบบป้องกันภาวะอันตรายอัตโนมัติที่จะนำมาใช้กับเครื่องต้นแบบนี้ได้จะต้องทำงานสัมพันธ์กับการทำงานของเครื่องต้นแบบ กล่าวคือ ระบบป้องกันภาวะอันตรายอัตโนมัติจะต้องป้อนภาชนะใหม่ในขณะที่ได้บรรจุของเหลวลงภาชนะเก่าเสร็จแล้ว ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับแก้ระบบควบคุมของเครื่องต้นแบบเพื่อให้เครื่องมีการส่งสัญญาณไปยังระบบป้องกันภาวะอันตรายอัตโนมัติเมื่อเครื่องได้บรรจุของเหลวลงภาชนะเสร็จแล้ว

การบรรจุหลายๆ ภาชนะพร้อมกันเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถเพิ่มอัตราเร็วในการบรรจุได้เป็นเท่าตัว โดยความเร็วที่เพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับจำนวนชุดหัวจ่ายที่ทำการติดตั้งเพิ่มเติม การเพิ่มจำนวนหัวจ่ายสามารถทำได้โดยไม่ต้องเพิ่มระบบลำเลียงภาชนะโดยใช้วิธีการเรียงหัวจ่ายให้เป็นแนวเส้นตรงอยู่เหนือสายพานลำเลียง ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเพิ่มระบบลำเลียงได้อย่างมาก สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้ระบบนี้คือ ระยะของหัวจ่ายจะต้องสัมพันธ์กับขนาดของภาชนะและภาชนะจะต้องถูกป้อนเข้ามาเป็นแถวตอนเรียงติดกัน โดยระบบควบคุมจะต้องทำการนับจำนวนภาชนะที่เข้ามาให้สอดคล้องกับจำนวนหัวจ่ายที่มี และอาจทำการติดตั้งชุดกันภาชนะเพื่อรอให้ภาชนะเข้ามาให้ครบตามจำนวนก่อนแล้วจึงทำการปล่อยไปในครั้งเดียว

## 5.2.2 การปรับเปลี่ยนรูปแบบของภาชนะ

เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถรองรับรูปแบบของภาชนะที่มีลักษณะปากกว้างเท่านั้น เช่น ภาชนะที่เป็นถ้วย ภาชนะที่เป็นกล่อง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ มีภาชนะที่มีรูปร่างหลากหลายมาก โดยเฉพาะภาชนะที่มีปากแคบ เช่นขวดต่างๆ ซึ่งต้องใช้ความแม่นยำของตำแหน่งสูง การปรับปรุงให้เครื่องต้นแบบสามารถรองรับภาชนะที่เป็นขวดสามารถทำได้โดยการใช้สายพานประคองด้านข้าง และปรับความกว้างของสายพานให้พอดีกับขนาดของขวด ซึ่งจะทำให้ความแม่นยำในการลำเลียงภาชนะเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ต้องการให้เครื่องสามารถรองรับภาชนะที่มีขนาดต่างกันหลายๆ แบบ จะต้องทำชุดสายพานประคองให้สามารถปรับระยะได้ รวมทั้งสามารถปรับระยะของหัวจ่ายได้ในกรณีที่ใช้หัวจ่ายหลายชุดพร้อมกัน

## บรรณานุกรม

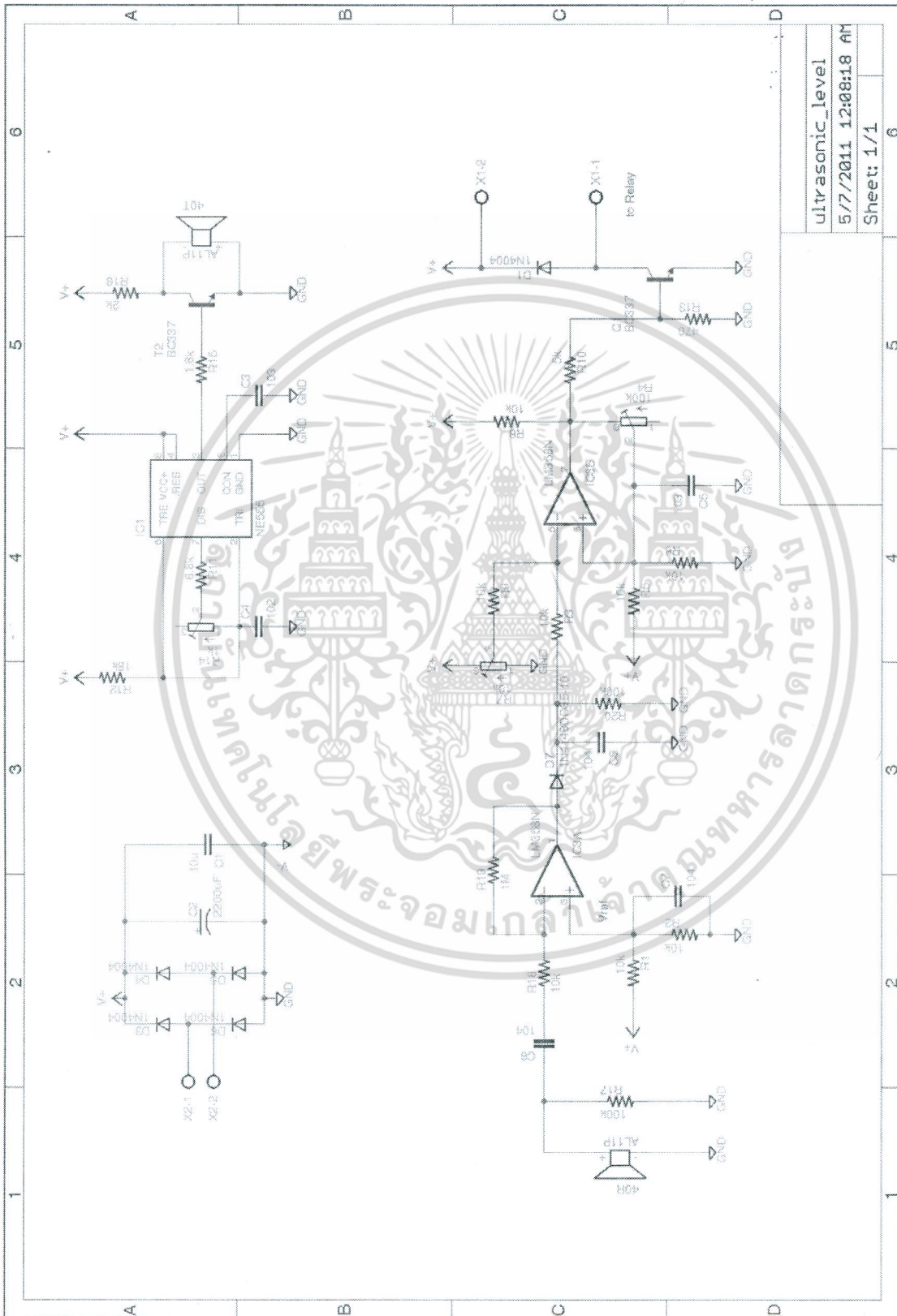
- [1] George Stokes. "On the Effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums". Transactions of the Cambridge Philosophical Society 9, pp. 8–106, 1851.
- [2] Osborne Reynolds. "An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels". Philosophical Transactions of the Royal Society 174 (0), pp. 935–982, 1883.
- [3] N. Rott. "Note on the history of the Reynolds number". Annual Review of Fluid Mechanics 22 (1), pp. 1–11, 1990.
- [4] M.F.Rahaman, S. Bari, and D. Veale. "Flow Investigation of the Product Fill Valve of Filling Machine for Packaging Liquid Products", Journal of Food Engineering, 85(2), pp. 252-258, Elsevier, 2008.
- [5] E. Bottani, R. Rizzo, and G. Vignali. "Simulation and Analysis of Fluid Dynamic Behaviour of Foods during Filling Processes," Chemical Product and Process Modeling. Vol. 2: Iss. 3, Article 18, 2007.
- [6] Z. Zeng, R. Whalley, and J. B. Hull. "The monitoring and control of a retail food container filling machine," Journal of Process Mechanical Engineering. Vol. 209 (E2), pp. 101-115, 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

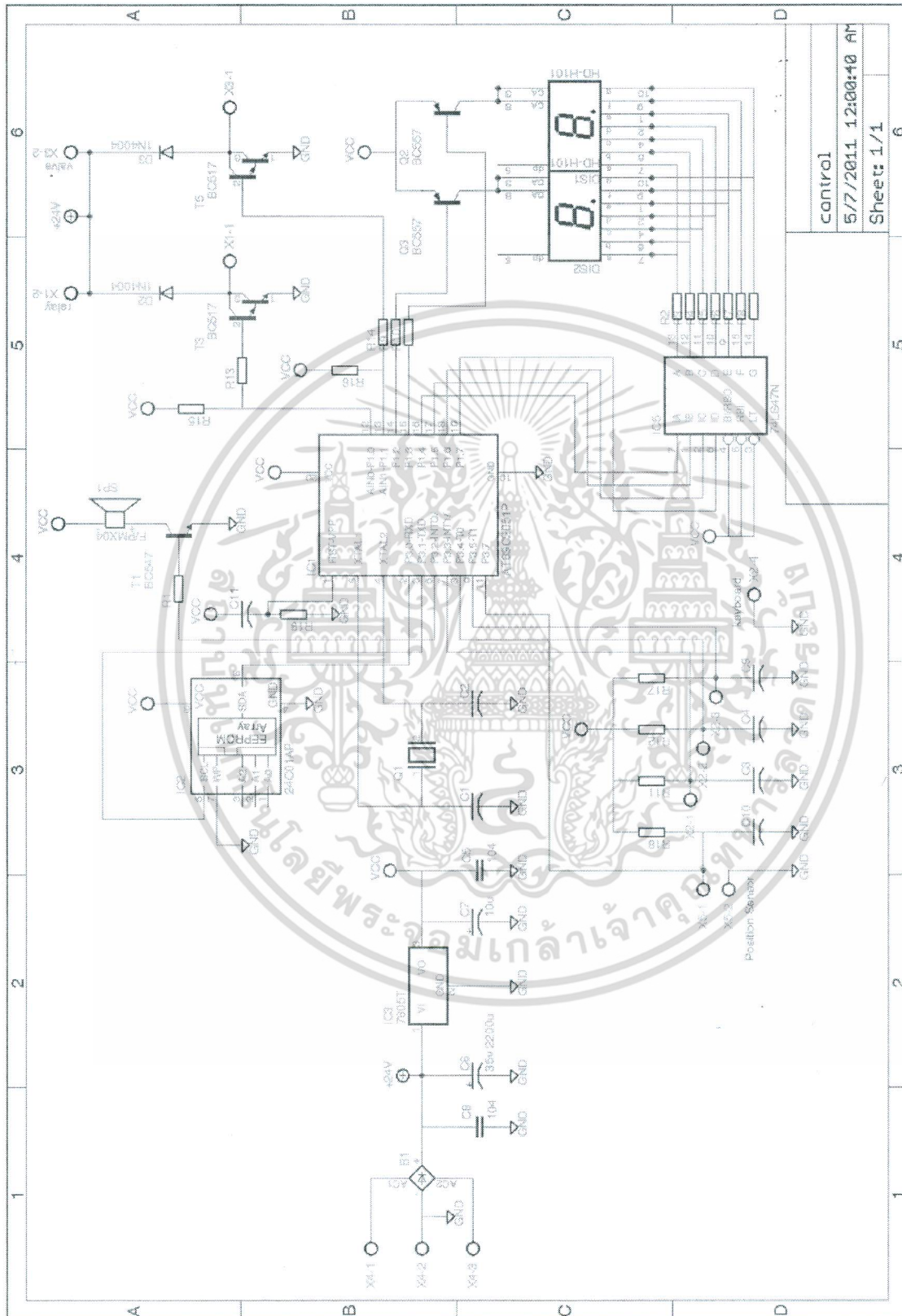
**ก.1 วงจรควบคุมระดับของของเหลว**



ultrasonic\_level  
5/7/2011 12:08:18 AM  
Sheet: 1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ก.2 วงจรควบคุมการทำงานของระบบ**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; Control program for Liquid Filling Mechine
;
; This program control the timing of filling liquid using
; a solenoid valve. The container is on a conveyor belt
; which is controled by a motor(On/Off). The filling time
; can be set by user.
;
; XTAL = 12 MHz : 1 cycle = 1 us
;
; I/O:
; p1.4-1.7 7 Seg digit value
; p1.2-1.3 7 Seg digit selector (active low)
; p1.0-1.1 relays of solenoid/motor (active high)
; p3.3-3.5 push button inputs (active low)
; p3.7 container position sensor
; p3.2 buzzer output
; p3.0-3.1 EEPROM read/write
; -----
Seg1      BIT    P1.3
Seg0      BIT    P1.2
Solnd     BIT    P1.1
Motor     BIT    P1.0
Buz       BIT    P3.2
UPBT      BIT    P3.3
DWBT      BIT    P3.4
OKBT      BIT    P3.5
SENR      BIT    P3.7

Delay     EQU    020h      ;store the delay time
Time      EQU    021h      ;count the filling time
FillTM    EQU    022h      ;store the filling time
OneSec    EQU    60        ;count 60=1 sec
OneTen    EQU    6         ;1 ten of a second (1 time units)
Tmp       EQU    023h      ;temporary storage

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ORG 0000h
LJMP START

; ----- Timer 0 interrupt address -----
ORG 000Bh
CALL ITR_TMO
RETI

; ----- Program Start Address -----
ORG 0100h
START:
MOV P1,#0F0H
CLR Buz

MOV FillTM,#20 ;Fill time = 20 time units
MOV Delay,#OneTen ;delay time(1 time unit = 0.1 sec)
MOV Time,#0 ;starting time = 0(sec)

SETB Motor ;start motor
SJMP LOOP ;wait until sensor is blocked
; or OK is pressed

CHK:
JB SENR,CHK ;wait until the object pass
; the sensor(block light = 1)
MOV A,#197 ;delay 197*103us = 20ms before
; stop motor

Wait1:
MOV Tmp,#25 ;2 cycles: 25*4us + 3us = 103 us

Wait2:
NOP ;1 cycle
NOP ;1 cycle
DJNZ Tmp,Wait2 ;2 cycles
DEC A ;1 cycle
JNZ Wait1 ;2 cycles

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    CLR    Motor                ;stop moter
    CALL  STARTTMO              ;start timer 0
LOOP:
    NOP
    JB    OKBT,CHK_SEN         ;check OK button
    CALL  SET_TIME              ;OK button is pressed
CHK_SEN:
    JNB   SENR,LOOP            ;wait until sensor is blocked

    SJMP  CHK                  ;go back to check (position
                                ; sensor + OK button)

; ----- Set the filling time -----
SET_TIME:
    CLR   Motor                ;stop the motor

    SETB  Buz
OK_RELEASE:
    JNB   OKBT,OK_RELEASE      ;wait until OK is released
    CLR   Buz
SCAN_KEY:
    JB    UPBT,SCAN_DW         ;scan the UP Button

    SETB  Buz
UP_RELEASE:
    JNB   UPBT,UP_RELEASE      ;wait until UP Button is released
    CLR   Buz
    INC   FillTM
    MOV   A,#0100              ;if FillTM = 100 then set it to 1
    CJNE A,FillTM,SCAN_DW
    MOV   FillTM,#1
SCAN_DW:
    JB    DWBT,DISP            ;if DOWN Button is not pressed,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่องค์กรที่มอบให้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    SETB Buz
DW_RELEASE:
    JNB  DWBT,DW_RELEASE ;wait until DOWN Button is released
    CLR  Buz
    DEC  FillTM
    MOV  A,#0             ;if FillTM = 0 then set it to 99
    CJNE A,FillTM,DISP
    MOV  FillTM,#099
DISP:
    MOV  TIME,FillTM
    CALL SHOWTIME
    MOV  A,#080H
SLEEP:
    NOP
    DEC  A
    JNZ  SLEEP

    ORL  P1,#11110000B ;clear display (7 segments)
    JB   OKBT,SCAN_KEY ;repeat scan if OK is not pressed

    SETB Buz
OK_RELS2:
    JNB  OKBT,OK_RELS2 ;wait until OK released
    CLR  Buz
    SETB Motor         ;re-start the motor

    RET

; ----- Start Timer 0-----
STARTTMO: ;start timer 0 in 16 bits mode
    MOV  IE,#10000010B ;enable timer 0 interrupt
    MOV  TH0,#0C0h     ;use only 14 bits for
                       ; faster interrupt interval time
    MOV  TLO,#0
    MOV  TMOD,#00000001B

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV   TCON,#00010000B
;
SETB  TR0
SETB  Solnd           ;activate solenoid (start filling)
RET

; ----- Timer 0 Interrupt routine -----
ITR_TMO:
MOV   TH0,#0C0h      ;reload timer 0, use only 14 bits
                        ; of the timer 0
;
CLR   Buz
;
reflesh LED 7 Segs too
DJNZ  Delay,DISPLAY
MOV   Delay,#OneTen
INC   Time
;
SETB  Buz
DISPLAY:
CALL  SHOWTIME
CHK_STOP:
MOV   A,Time
CJNE  A,FillTM,EXIT_TMO
CLR   Solnd          ;stop filling
MOV   IE,#00000000B ;disable timer 0 interrupt
MOV   Time,#0        ;reset time
ORL   P1,#11110000B ;clear display (7 segments)
SETB  Motor          ;start motor
EXIT_TMO:
RET

; ----- Show Time -----
; Display the value in 'Time' to 7 Segments
SHOWTIME:
MOV   A,Time
MOV   B,#10
DIV   AB
JB    Seg1,DISPLAY_A
DISPLAY_B:

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในขององค์กรเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV    A,B
SWAP  A
ANL   P1,#0Fh
ANL   A,#0F0h
ORL   P1,A      ;P1=P1(lower 4 bits) OR A(higher 4 bits)
CLR   Seg0
SETB  Seg1
SJMP  EXIT_ST

DISPLAY_A:      ;7 segment 1
SWAP  A
ANL   A,#11110000B
JNZ   A_NEXT
DEC   A      ;if A=#0, don't display
A_NEXT:
ANL   P1,#0Fh
ANL   A,#0F0h
ORL   P1,A      ;P1=P1(lower 4 bits) OR A(higher 4 bits)
CLR   Seg1
SETB  Seg0
EXIT_ST:
RET

END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้